

ノート

平成 19 年 7 月 31 日受理

「自然の力で動くモノ」をテーマとする 小中学生向けの教材開発(1)

—紙飛行機をラジコンで操縦しよう—試作編—

"Teaching materials development for primary and secondary students which assume "an object moving by natural power" a theme" (1)

- 渡辺雅志、林 暁／富山大学芸術文化学部
WATANABE Masashi, HAYASHI Satoru / The Faculty of Art and Design, University of Toyama
- Key Words : Paper airplane, Radio-control, Teaching material

要旨

水や風や空気など自然から得られるエネルギーを利用して動く形態の可能性を探り、小中学生自ら工夫し創りあげる喜びを感じられる教材モデルを開発する。

1. 研究の背景

20世紀末からテレビゲームが一家に1台といわれ、近年では子ども一人に1台のモバイルゲームが流行している。こういったゲームの画像処理技術は現実と仮想の狭間を体験出来る極めて優れたものであるが、その反面、全身の感覚を研ぎ澄まし、自ら考え、自らの身体をコントロールする直接的でダイナミックな体験に乏しくなっている。昔ながらの遊びといわれる、コマや凧、けん玉や紙飛行機などは、まさに自然の力を利用した、全身感覚玩具とも言える。

この中でも特に身近でなじみ深い遊びといえば紙飛行機である。紙飛行機は新聞の折り込み広告やノートの紙など身近な紙で容易に折ることができ、場所を選ばず飛ばすことができる。“遠くまで飛ばそう”“長い時間飛ばそう”と機体に想いをのせて空中へ飛ばすこの一瞬は、大人になった今でも胸が高鳴る瞬間である。よく飛んだときには満足感や達成感を感じ、また拾い上げて飛ばしてしまう。このひとときは大人でも童心に戻る瞬間かもしれない。胸を躍らせる不思議な魅力が紙飛行機には詰まっている。

紙飛行機は一度手から離れてしまえば、あとは自然環境にまかせて飛んでいく。誰もが当たり前に体験しているこの行為の中に、誰もが未体験の夢がある。つまり“紙飛行機を飛ばした後も、自分で自由にコントロールできたら”という夢である。本研究は、この夢を実現させるべく、紙飛行機に最新のラジコンコントロール技術を融合させた新しいカテゴリーの玩具教材の開発を目指す。

2. 教材制作のプロセス

2.1 “よく飛ぶ”紙飛行機の制作

まずはよく飛ぶ飛行機を制作する。形状は伝統的な折り紙飛行機から切り紙飛行機、自ら考え出した独創的なものまで自由に楽しみながら制作する。素材はコピー用紙からカレンダー、広告、ケント紙の貼られたスチレンボードなどを使用する。大きさは特に問わないが、とにかく“よく飛ぶ形態”を見つけ出し、自然の力を受けて飛んでいることを実感することが大切である。このプロセスでは「造形（飛行物体の形）」「技術（材料の使い方、制作方法）」等を体験しながら学ぶこととなる。

2.2 スケールアップ

2.1で制作した紙飛行機をより大きなスケールに等倍する。これは後にラジコンコントロールシステムを機体に搭載しなければならないためである。そのシステムは一式約60gの重量があり、これらを搭載しても飛ぶことの出来る機体を制作しなければならない。しかし単純に等倍させて制作するだけでは飛ばないことに制作者は気づくことになる。スケールアップすることで全体の質量と素材強度のバランスが変化する。使用する素材を変えれば制作方法も変わっていく。機体の重心のバランスはさらにシビアになり、飛行機が飛ぶには揚力が必要であるという飛ぶ原理も理解しなければならない。このプロセスではこれまでの「造形」「技術」をさらに追求すると共に「科学（空気や物理的な構造で生まれる力）」を加えた複合的な感覚と理解が必要となる。

この「スケールアップ」は、結果から学びとる力、次の効果を予測する力、さらに具体的に改善する力、これらの試行錯誤をくり返ししながら“よく飛ぶ”スケールアップした紙飛行機を制作することになる。

ここで完成した大きな機体は、端から見れば単純に大きくしただけに見えるかもしれないが、実際には“小さい飛行機の時には飛んでいたものが、大きくした途端飛ばなくなってしまった”という経験から考えた様々な創

意工夫が盛り込まれている。この“特別”な機体が飛び驚きと感動は、既に従来の紙飛行機のイメージとは全く違う価値を持った存在になっているはずである。

2.3 ラジオコントロールと紙飛行機の融合

いよいよスケールアップした機体にラジオコントロールシステムを搭載する。まずは何のためにラジオコントロールシステムが必要かについて述べよう。

一旦手から離れた紙飛行機は自然環境にまかせて飛んでいくのは周知の通り。本研究では手から離れた紙飛行機を無線でコントロールする、つまり操縦しなければならない。飛行機の操縦とは、上昇、下降、左旋回、右旋回、など機体の向きを変え、進行方向をコントロールすることである。このほか通常の模型飛行機にはモーターやエンジンが搭載され、自機で推進力を発生させるが、当然紙飛行機にはこの装備はない。あくまでも空中へ投げ飛ばし、その慣性によって自然に滑空する。この自然滑空する紙飛行機の機体に進行方向を変える機構を装備させ、この機構を自由に操作するために必要なのが無線のラジオコントロールシステムである。

ラジオコントロールシステムは一般的な小型プレーン専用のものを使用する。(7CAP：双葉電子工業株式会社製)システム構成は以下の通りである(写真1)。

- ・「プロポ」：操縦機(コントローラー)
- ・「受信機」：プロポからの無線信号をキャッチする
- ・「サーボ」：飛行機の進路を変える駆動装置
- ・「バッテリー」：動力源

このうち機体に搭載するものは「受信機」「サーボ」「バッテリー」の3種類。進路を変える機構をいくつ装備するかでサーボの数が変わるが、「受信機(11.2g)」×1、「サーボ(7.7g)」×3(23.1g)、「バッテリー(25g)」×1の合計は59.3g。つまりサーボを3基搭載した場合、59.3gの重量をのせて滑空できる紙飛行機でなければいけないということである。

2.4 調整

ラジオコントロールシステムが搭載された紙飛行機は、シビアな調整が必要となる。全体の重量バランス、重心バランス、揚力バランス、コントロール側のサーボの動きのミキシング(連動調整)など。これらの細かい微調整で驚くほど安定するようになったり、全く飛ばなくなったりと、頻繁に調整をくり返し、機体に応じたベストなセッティングを見つかる調整作業が非常に大切になってくる。

この調整作業は、自然の力を敏感に感じる事が出来る作業とも言える。自機の推進力を持たない紙飛行機は、空気や風という自然の力を最大限にロスなく利用しなけ

ればならない。この自然の力とのやりとり(ある意味コミュニケーションともいえる)を実感として感じる事が出来るのも本研究の醍醐味でもある。

3. 試作

今回は試作編として様々な可能性を試している。まずはどんな紙飛行機を作るのか。ひとえに紙飛行機といっても選択範囲は非常に広い。本研究では試作機ごとにコンセプトを立て、実験・検証・改善を繰り返し、発生した問題には臨機応変に対応、作りながら最適な素材や制作方法などのアイデアを模索し、試作を行うこととする。

4. 試作機の考察

これまで行った試作を機体別に考察する。制作プロセスで起こった様々な問題やその対処、結果、さらなる今後の展望までをレポートする。

4.1 「1号機：へそヒコーキ(折り紙飛行機)」

誰もが体験したことのある紙飛行機といえば“へそヒコーキ”である(写真2)。折り紙飛行機は一枚の紙を折るだけで創りあげるもので、切ったり、のり付けしない(機種によっては一部をテープで貼る場合あり)ことが条件となっている。

4.1.1 へそヒコーキ：コンセプト

紙飛行機として一般的にイメージされる機体を採用することで、誰もがかつて一度は作ったことのある紙飛行機がコントロール出来る驚きを感じて欲しい。

4.1.2 へそヒコーキ：制作プロセス

(a) 機体の制作

まずはコピー用紙(A4サイズ 210×297 0.15mm厚)で制作。次に、プリンター用紙(A1サイズ 841×1189 0.2mm厚)で等倍サイズでスケールアップ(写真3)。コピー用紙で制作した機体と比べ、プリンター用紙で等倍した機体は、自重と用紙の張力のバランスが崩れ、飛行というよりは落下してしまう。翼の張力を得るために2mm厚のスチレンボードで制作した新たな翼を既存の翼上面に貼り付けることで張力が得られ飛行出来る機体となった(写真4)。

(b) ラジオコントロールシステムの搭載

本機は飛行機の形の分類で言えば“デルタ翼”と呼ばれる種類に属する。尾翼を持たない主翼のみの構成であるため、主翼に機体を上下左右に方向付ける機構が必要となる。この機構を取り付ける翼の部分に切り込みを入れ可動部を制作する(写真5)。

次に可動部を動かすためにサーボを取り付ける（写真6）。サーボと可動部はリンケージと呼ばれる連結棒でつなぎ、サーボの動きに合わせて上下に可動する仕組みとなっている（写真7）。

機体上にはサーボ2基のほか、受信機とバッテリーが機体の重心を考慮した位置に搭載される。アンテナ線は極力伸ばし固定する（写真8）。

システムを搭載した後はミキシングを行う。ミキシングとは操縦機（以下プロポ）のレバーの動きに対し可動部をどう動かすかを設定すること。今回の1号機は主翼のみであるから、2カ所の可動部で機体を上下させる昇降蛇（以下エレベーター）と左右に旋回させる補助翼（以下エルロン）の動きを設定する（写真9、10）。

機体のバランスを見るために5mほどの距離で飛行させる。飛行中に機首が上がれば重心をさらに前へ、機首が下がれば重心をさらに後ろへ移動させる。重心の移動は、受信機とバッテリーの搭載位置の変更と、それでも調整がつかなければ別に重りを追加する。今回の重りは暫定の対策として使用済みの乾電池を使用（写真11）。また、左右に曲がるようであれば、エルロンの設定をプロポでトリム調整する。

4.1.3 ヘソヒコーキ：飛行実験

飛行実験は体育館で行う。最終的には屋外での飛行も想定しているが、現状では無風状態で機体の安定性を最優先としている。

機体を飛ばす人と、プロポを持ち機体进行操作する人の二人一組で飛行させる（写真12）。まずは通常の紙飛行機の飛ばし方と同じスタイルで空中へ投げ飛ばす。大きな機体は重量があるため両手で持ち、出来るだけ床面に対して水平にリリースする（写真13）。機体が大きくなった分、投げ出すスピードを上げ、飛行に見合った揚力を発生させなければならない。ここでは強く正確なリリース技術が求められる。このリリース技術が飛行を成功させる重要なポイントを占めている。投げ出された機体はまだまだ不安定であるため、時にはすぐに落下してしまったり、左右に大きく曲がったりと安定しない。これは機体の性能というよりも、機体を飛ばす人の動作のぶれが大きく影響しているものと考えられる。

機体を飛ばす人とペアであるもうひとりがプロポを持ち機体进行操作。ここで本研究の醍醐味を実感する出来事が起こる。通常の紙飛行機であれば、手から離れた機体はどうすることも出来ない。しかし、リリースされた機体が落下する瞬間、操縦者が機体を操縦し、自力で機首を上げ再び飛行体制に戻ってきた。その後、幾度と無く上下左右に飛行バランスが崩れる事態に陥るが、墜落ではなくソフトな軟着陸態勢で床面に降り立つことが

出来たのである（写真14）。

4.1.4 ヘソヒコーキ：今後の展望

飛行実験の最中、エレベーターとエルロンを兼ねた補助翼のサイズを2度変更した（写真15）。よりクイックな操作を期待し、補助翼面積を次第に広げる改善を行った。エレベーターの反応は非常に良いのだが、エルロンの反応が悪く、若干進行方向の修整が出来る程度である。今後は補助翼の面積や可動量の調整はもちろん、素材を含めた制作方法の見直し、さらなる飛行安定性の実現を目指したい。

4.2 「2号機：先尾翼機（切り紙飛行機）」

紙飛行機のもう一つの形、切り紙飛行機。型紙を切り、貼り合わせて作る飛行機である。今回は切り紙飛行機のポピュラーな形ではなく、あえて不思議な形態を持つ“先尾翼機”を採用した（写真16）。

4.2.1 先尾翼機：コンセプト

一見反対に飛びそうな独特の形が飛行の楽しさを表現出来ればと考えている。また切り紙飛行機の利点“軽さ”を生かした制作方法を見つけ出したい。

4.2.2 先尾翼機：制作プロセス

(a) 機体の制作

まずはスチレンペーパー（470×320 0.8mm厚）で制作。次に等倍サイズへのスケールアップには、軽量で強度が高い、表面にケント紙が貼られたスチレンボード（A1サイズ 841×1189 5mm厚）を素材に選んだ（写真17）。材厚が5mmあるため、エッジを削り、空気抵抗を押さえている。また削ることで剥き出しになった潰れやすいスチロールの角にはクラフトテープで補強を加えた（写真18）。軽量な機体は飛行安定性が非常に高く、飛距離も優に25mを超える高い性能を持つ機体となった（写真19）。

(b) ラジオコントロールシステムの搭載

先尾翼機では、前方の小さい翼が水平尾翼、後方が主翼である。システムの搭載は2段階ステップで行った。1段階目では、1号機のように主翼のみにエレベーターとエルロンを搭載する（写真20）。2段階目には水平尾翼にエレベーターを、主翼にエルロンと機能を分け搭載する（写真21）。

4.2.3 先尾翼機：飛行実験

1号機に比べ機体が軽量であるため、操作反応が非常にクイックに感じられた。また上空へ投げ上げてから飛

行体制に入ることも出来、安定感が高い機体である（写真22）。

水平尾翼にエレベーターを、主翼にエルロンと機能を分けて行った飛行実験では、主翼のみの場合に比べ、エレベーターの効き具合がよりクイックになった以外には、さほど違いが感じられなかった。

4.2.4 先尾翼機：今後の展望

1号機に比べ明らかに、よりクイックな反応と飛行安定性が得られた。エレベーターの効きは十分であったが、やはりエルロンの反応が悪くうまく旋回しない。今後は補助翼の形状やミキシングを検討し、より確実な飛行操作が可能となるよう進めていきたい。

4.3 「3号機：スカイキング（折り紙飛行機）」

“スカイキング”は、滞空時間を競う折り紙ヒコーキ競技会*1で常に好成績をあげる高性能機であることから採用した（写真23）。

4.3.1 スカイキング：コンセプト

1号機で試作した折り紙飛行機のコンセプト“誰もが知っている紙飛行機がコントロール出来る驚き”をよりイメージさせるように、折り紙飛行機本体に出来るだけ手を加えないスタイルを確立する。

4.3.2 スカイキング：制作

（a）機体の制作

まずはコピー用紙（A4サイズ 210×297 0.15mm厚）で制作。次にプリンター用紙（A1サイズ 841×1189 0.2mm厚）で等倍サイズにスケールアップ（写真24）。機体を補強するために胴体に2mm厚のスチレンボードの芯を入れる（写真25）。さらに自重に対する用紙の張力を確保するために主翼最後部に2mm厚のスチレンボードを貼り付ける（写真26）。また着陸時に破損しないよう本体のエッジ部にもクラフトテープで補強を加える（写真27）。

（b）ラジオコントロールシステムの搭載

本機は主翼のみの機体であるため、主翼にエレベーターとエルロンの機構を取り付ける。翼の張力を確保するために主翼最後部に貼り付けた2mm厚のスチレンボード上にサーボを搭載する（写真28）。また、受信機、バッテリーは、新たに補強のために翼センターに追加したスチレンボード上、機首側に搭載する（写真29）。

4.3.3 スカイキング：飛行実験

1号機のように別の翼で全面補強していない本機は、

墜落するたびに翼が曲がるなど、衝撃に対する強度不足の影響が多々見られた。一方、最小部材の追加でシステムを搭載していることから機体のリリースは片手で出来る手軽さがあった（写真30）。

1号機、2号機と同じくエレベーターの効果は得られているが、やはりエルロンの効果が弱い。

4.3.4 スカイキング：展望

現状では素材の面からも、剛性の面からも、バランスの悪い機体となっている。より紙飛行機（折り紙飛行機）らしさを追求し、機体に手を加えないように制作する今回のような試作では、強度不足が最大の問題である。強度と剛性のバランスが今後のカギとなる。

5 まとめ

今回は3機の試作機を制作した。3機ともコンセプトが違い、どれもオリジナリティーが高い取り組みである。いずれも未完成ではあるが、各機のコンセプトに基づいてさらなる完成度を追求していく。

誰もが持つ遊びの記憶に対する斬新な驚きを通してモノづくりの楽しさを伝えられる教材の実現を目指して、研究を進めていきたい。

謝辞

本研究は、富山第一銀行奨学財団研究助成による「大学の知の開放による子ども公開講座カリキュラムの開発研究」内における個別研究として行われたものである。また本研究において、試作機制作、飛行実験助手をして頂いた、富山大学高岡短期大学部専攻科（当時）河村岳大さん、濱松寛さんに深く感謝申し上げます。

注釈

* 1 折り紙ヒコーキ競技会

日本折り紙ヒコーキ協会が定める競技会

参考文献

1. 小林昭夫、「紙ヒコーキで知る飛行の原理」、講談社、1988年
2. 戸田拓夫、「よく飛ぶ立体折り紙ヒコーキ」、二見書房、1999年
3. 戸田拓夫、アンドリュー・デュアー「よく飛ぶ！折り紙・切り紙ヒコーキ」、二見書房、2003年
4. 戸田拓夫、「折り紙ヒコーキ進化論」NHK出版、2003年
5. 戸田拓夫、「親子であそぶ折り紙ヒコーキ」、二見書房、2005年



写真1 ラジオコントロールシステム

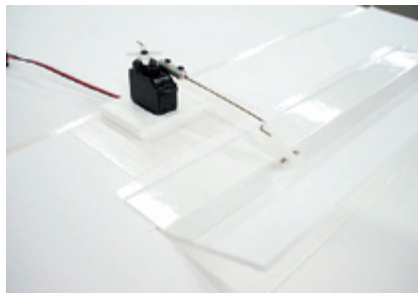


写真6 サーボとリンケージジョイント



写真11 重りとしての乾電池

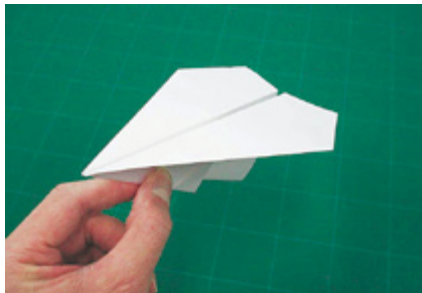


写真2 ヘソヒコーキ



写真7 上下に補助翼が可動



写真12 飛ばす人と操縦する人



写真3 ヘソヒコーキのスケールアップ



写真8 受信機とバッテリーは機首側



写真13 床面と水平にリリース



写真4 新しい翼を貼り付ける

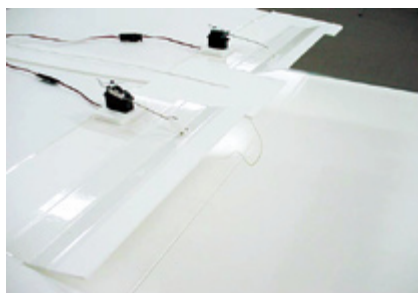


写真9 同時に上下するエレベーターの動き



写真14 床面すれすれで再浮上

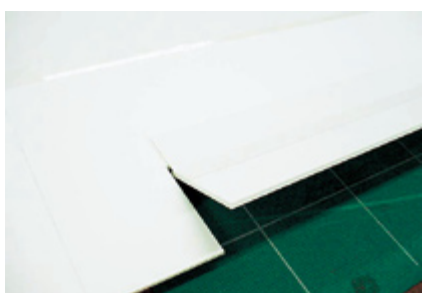


写真5 可動部の制作

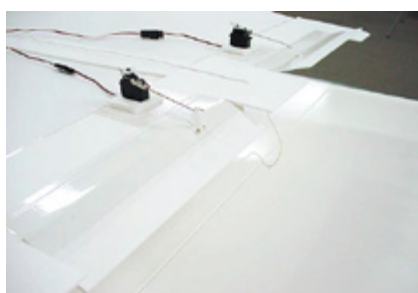


写真10 上下が反対になるエルロン動き



写真15 補助翼のサイズを変更

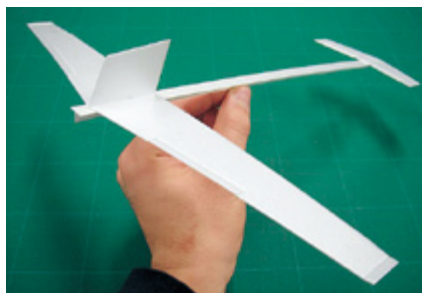


写真16 先尾翼機



写真21 水平先尾翼にもサーボを搭載

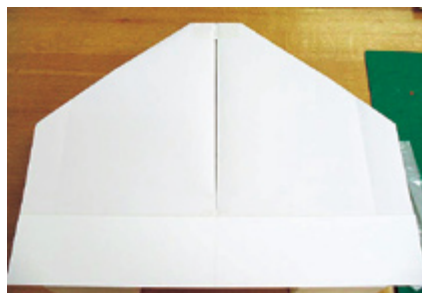


写真26 主翼最後部にスチレンボード



写真17 先尾翼機のスケールアップ



写真22 投げ上げてからの飛行が可能

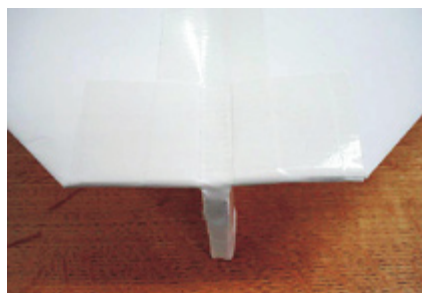


写真27 機首先端部をテープで補強



写真18 エッジを削り空気抵抗を抑える



写真23 滞空性能が高いスカイキング



写真28 主翼最後部にサーボを搭載



写真19 飛距離は25mを超える

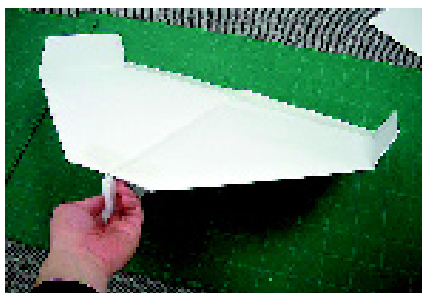


写真24 スカイキングのスケールアップ

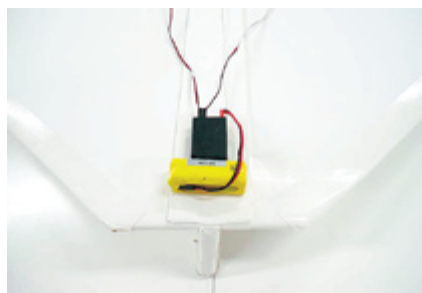


写真29 補強のためのスチレンボード

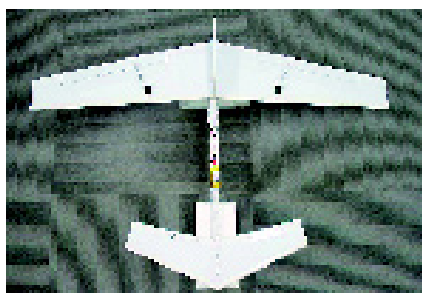


写真20 主翼のみにサーボを搭載



写真25 胴体に芯材を入れ強度を上げる



写真30 片手でリリースできる手軽さ